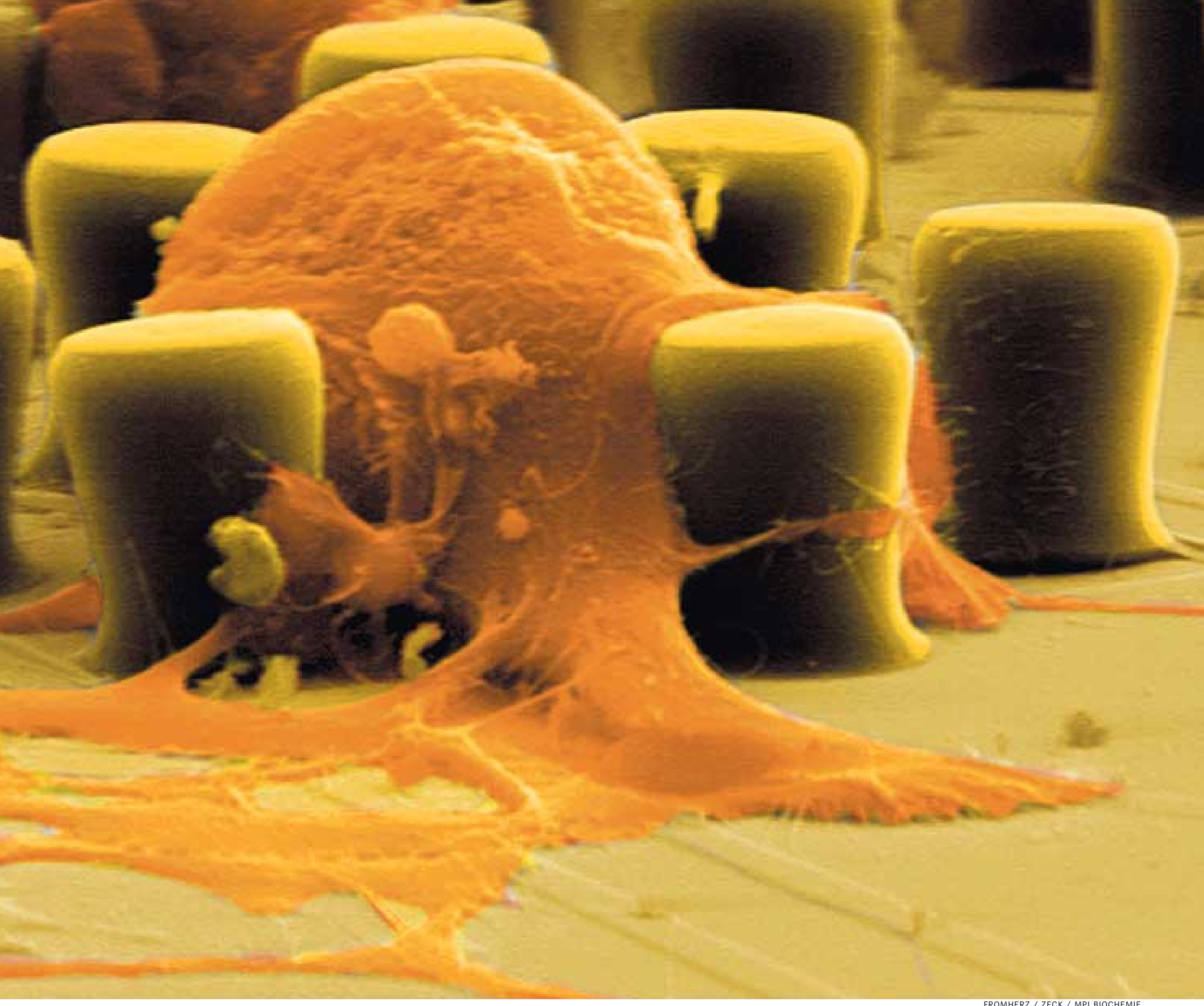


FROMHERZ / ZECK / MPI BIOCHEMIE

Nervenzelle einer Schnecke auf Siliziumchip*: *Biologische Signale verwandeln sich in elektronische Befehle*

HIRNFORSCHUNG

Gedanken machen mobil

Neurowissenschaftler entwickeln Apparaturen, die Hirnsignale belauschen und in elektronische Befehle übersetzen. Im Experiment wachsen Nervenzellen und Computerchips zusammen. Schon bald soll es Gelähmten ermöglicht werden, per Gedankenbefehl Maschinen zu steuern.

Um zehn Uhr morgens geht Auroras Gehirn auf Sendung. Der Rhesusäffin werden sechs Drähte in sechs winzige Steckdosen gestöpselt, die in ihrem Schädel verankert sind. Die anderen Enden der Kabel führen zu einem Computer.

Was dann hinter den Türen der Abteilung für Neurobiologie der Duke University in Durham (US-Bundesstaat North Carolina) geschieht, könnte, so unspektakulär es anmuten mag, den Beginn einer neuen Ära bedeuten: Aurora verschiebt mit dem rechten Arm einen Hebel, um Apfelsaft zu erhalten – im selben Augenblick flackern im Nebenraum grüne Linien über einen Monitor.

„Diese Signale sind einzigartig“, sagt Miguel Nicolelis, 40. „Die grünen Linien zeigen die elektrischen Aktivitäten des Affengehirns. Aurora steuert damit ihren rechten Arm“, erklärt der aus São Paulo zugewanderte Hirnforscher. „Doch wir werden die Hirnströme dazu nutzen, einen Roboterarm zu bewegen.“ Gedanken steuern Maschinen – diese Großtat ist Nicolelis mit

* Elektronenmikroskopische Aufnahme aus dem Max-Planck-Institut für Biochemie in München (eingefärbt).

zwei südamerikanischen Nachtaffen (Belle und Carmen) schon gelungen: Bewegten die verkabelten Tiere ihre Arme, dann vollzogen angeschlossene Roboterarme die Bewegungen der Affen in Echtzeit nach. Die Befehle dazu gaben die neuronalen Impulse in den Hirnen der Geschöpfe.

In diesem Herbst will Nicolelis seine Gedankenlese-Apparatur an der Rhesusäffin Aurora erproben – und sich anschließend sogar an den Homo sapiens herantrauen.

Die amerikanischen Ärzte Roy Bakay und Philip Kennedy sind nicht so zaudernd. In einem Krankenhaus in Atlanta bohrten sie dem heute 63 Jahre alten Johnny Ray aus Carollton (US-Bundesstaat Georgia), der seit einem Schlaganfall gelähmt ist, bereits vor drei Jahren ein Loch in den Kopf. „Erst verankern wir die Elektrode im Schädelknochen, damit sie nicht umherwandert. Dann warten wir auf Signale“, erklärt Bakay. Mittlerweile überträgt sein Patient auf gedanklichem Wege erste Kommandos an einen Computer.

Die kühne Bohrung und die Versuche an Affen künden von einer spukhaften Vision der Wissenschaft: Menschen tragen Chips im Gehirn und steuern damit Maschinen – indem sie die Befehle einfach denken.

Menschen, die wie der englische Physiker Stephen Hawking gelähmt und nur auf ihre reine Geisteskraft angewiesen sind, könnten mit ihren Gedanken Bücher diktieren, robotische Diener scheuchen, Rollstühle lenken, im Internet surfen – und vielleicht sogar wieder Teile ihres Körpers beherrschen. Menschen, denen Arme oder Beine fehlen, könnten Prothesen ebenfalls mit der Kraft ihrer bloßen Vorstellung bewegen.

Der utopische Film „Firefox“ aus dem Jahr 1982 lässt erahnen, was sonst noch möglich wäre: Ein Pilot, gespielt von Clint Eastwood, steuert die Waffensysteme eines Kampfflugzeugs mit seinen Gehirnströmen. Die amerikanische Luftwaffe liebte die Vision. Sie werkelte heimlich an futuristischen Lenkhelmen. Die sollten die Gehirnströme auf der Kopfhaut des Piloten erfassen und in Computerbefehle verwandeln.

Dass das Militärprojekt nicht vorankam und schnell verworfen wurde, ist wenig überraschend: Im Gehirn eines jeden Menschen drängen sich 100 Milliarden Nervenzellen, die unentwegt elektrische Impulse abfeuern. Aussichtslos erscheint das Unterfangen, in dem tosenden Nervengewitter einzelne Blitzsignale zu orten und den Sinn einzelner Nervenblitze zu verstehen.

Zwar kann man Gehirnströme bequem mit auf die Kopfhaut geklebten Elektroden messen; doch erweisen sich die Signale als zu schwach und zu chaotisch, um sie bestimmten Gedanken zuzuordnen. Deshalb dringen die Wissenschaftler neuerdings in das empfindliche Gewebe des Gehirns selbst vor.

„Wir haben 15 Jahre gebraucht, bis wir erstmals Signale aus Affengehirnen belauschen konnten“, berichtet Nicolelis. Immer neue Elektroden hat er entwickelt, um mit ihnen ins Denkorgan vorzustoßen. Die sechs viereckigen Plättchen, die der studierte Mediziner eigenhändig in Auroras Schädelknochen gesetzt hat, sind so groß wie der Nagel eines kleinen Fingers. Wie Steckdosen in der Wand sind sie dauerhaft im Schädelknochen des Affen verankert.

Will Nicolelis diese Plättchen mit einem Rechner verbinden, so stöpselt er die Kabel von außen in sie hinein. Die Plättchen tragen an einer Kante jeweils 128 haarfeine Drähte aus Stahl. Die sehen aus wie die Zacken eines Kamms und ragen ungefähr zwei Millimeter tief in die Hirnrinde (Kortex), wo sie von Nervenzellen umwachsen werden.

Genau hier liegt die Schnittstelle zwischen Gehirn und Computer; genau hier verwandelt sich ein biologisches in ein elektronisches Signal. Was kompliziert klingt, beruht auf einem simplen Prinzip: Die Elektroden messen den Strom im Gehirn, also jene elektrischen Impulse, die von Nervenzelle zu Nervenzelle fließen, wenn das Oberstübchen arbeitet.

Noch werden diese Impulse per Kabel an den Computer weitergeleitet, doch schon bald sollen die störenden Drähte verschwinden. Gemeinsam mit Ingenieuren seiner Universität entwickelt Nicolelis zurzeit eine neuartige Funk-Elektrode, die die Signale drahtlos an den Rechner sendet.

Das Verzahnen von denkendem Gewebe und rechnendem Silizium ist auch das Ziel von Peter Fromherz und Günther Zeck vom Max-Planck-Institut für Biochemie in München. Ihnen ist es vor kurzem erstmals gelungen, Nervenzellen einer Wasserschnecke dauerhaft mit einem Siliziumchip zu verbinden. Der Trick: Sie befestigten die Schneckenneuronen mit winzigen Kunststoff-Zäunen auf dem Halbleiter.

Schon nach wenigen Tagen begannen belebte und tote Materie, Botschaften auszutauschen. Fromherz und Zeck schickten dazu einen elektrischen Impuls über den Chip in eine Nervenzelle. Dann geschah etwas Wundersames: Der elektrische Reiz wanderte durch den gesamten neuronalen Zellverband und wurde schließlich von einer der Schneckenzellen zurück an den

Hirnforscher Nicolelis, Nachtaffe
Stöpsel in das Oberstübchen

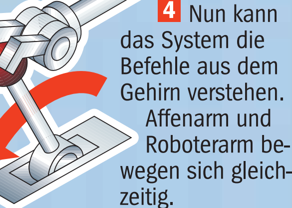

JIM WALLACE

Gedacht, getan
Wie an der Duke University Gedanken gelesen werden

1 Sechs fingernagelgroße Chips mit jeweils 128 Elektroden sind im Schädelknochen eines Rhesusaffen verankert, der einen Hebel umlegt.

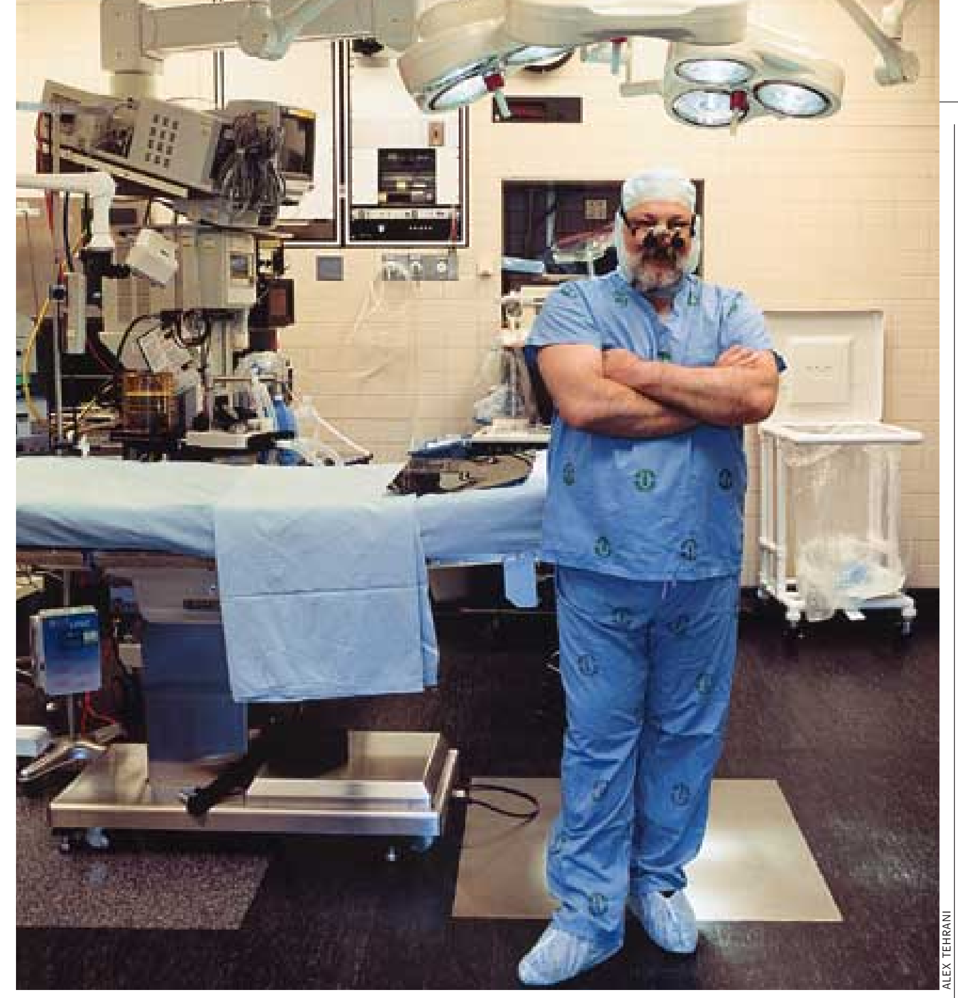
2 Die haarfeinen Elektroden ragen zwei Millimeter tief in die Hirnrinde, wo sie die elektrischen Signale von Nervenzellen registrieren.

3 Die Elektroden sind mit einem Computer verkabelt. Dessen Software wird so programmiert, dass sie die Hirnsignale, die für die Armbewegung typisch sind, erkennt und in Maschinensprache übersetzt.



4 Nun kann das System die Befehle aus dem Gehirn verstehen. Affenarm und Roboterarm bewegen sich gleichzeitig.

DER SPIEGEL


ALEX TEHRANI

Chirurg Bakay: *Gehirn eines Gelähmten angezapft*

Chip gegeben – Gehirn und Computer kommen sich näher.

Forscher der University of California in Berkeley wiederum zapften 177 Nervenzellen im Zwischenhirn einer Katze an – und zwar genau dort, wo die optischen Eindrücke verarbeitet werden. Ein Computerprogramm verwandelte die elektrischen Signale in Bilder. Die waren zwar schemenhaft, aber sie zeigten genau das, was die Katze während der Versuche zu sehen bekam: das Antlitz eines Menschen.

Doch wie lassen sich solche neuronalen Signale in Bewegungen einer Maschine verwandeln? Ferdinando Mussa-Ivaldi schuf dazu an der Northwestern University in Chicago kürzlich ein befremdliches Mischwesen: den ersten realen, wenngleich noch ziemlich kümmerlichen Cyborg. Der bestand vor allem aus dem Gehirn eines Neunauges, eines kieferlosen Fisches, das in einer sauerstoffreichen Petrischale dümpelte. Über Kabel und einen Computer war das Hirn mit einem winzigen Roboter auf vier Rädern verbunden.

Knipste Mussa-Ivaldi eine grelle Lampe an, dann registrierten die Sensoren des Roboters den hellen Schein und schickten elektrische Impulse an das Gehirn des Neunauges. Das Hirn verarbeitete die Signale und schickte einen Befehl an den Roboter zurück. Der rollte sodann dem Licht entgegen – ganz so wie es dem Instinkt des Neunauges entspricht. Erlosch die Lampe hingegen, standen die Räder der Maschinenkreatur still.

Der Coup gelang nur dank einer ausgeklügelten Computersoftware: Sie übersetzte die Botschaften aus dem Gehirn in die Befehle der Maschinensprache.

„Man muss zunächst beobachten, wie Nervenimpulse und Bewegungen zusammenhängen“, erklärt Neuroforscher Nicolelis das Prinzip. Genau deshalb mussten die Nachtaffen Belle und Carmen (und jetzt Rhesusäffin Aurora) viele Monate lang zwei ewig gleiche Bewegungen wiederholen: nach einer Frucht greifen und dabei den Schalthebel umlegen – stets belauscht von den Elektroden in ihrer Hirnrinde.

Die Drähte erfassten zwar nur einen verschwindenden Bruchteil jener Abermillionen von Nervenzellen, die während des Greifens im Kortex feuerten. Umso erstaunlicher war, dass dennoch ein repräsentatives Bild der Gedanken entstand.

Die Forscher um Nicolelis schrieben nun ein Computerprogramm, dass diese neuronalen Signale übersetzt: in Befehle für einen Roboterarm. Die Software wurde so lange verfeinert, bis der Kunstarm die jeweiligen Bewegungen der Affenarme im dreidimensionalen Raum getreulich nachvollzog.

Da die Impulse im Gehirn natürlicherweise bereits 0,3 bis 0,4 Sekunden vor der eigentlichen Bewegung entstanden und innerhalb dieser Zeit mühelos vom Computer übersetzt werden konnten, rührte sich der Roboterarm genau synchron mit dem Affenarm.

In einem weiteren Versuch übertrug der Forscher die Daten auch übers Internet. Als einer der Affen in Durham seine Nervenblitze losfeuerte, da regte sich im knapp 1000 Kilometer entfernten Cambridge (US-Bundesstaat Massachusetts) der Prothesenarm.

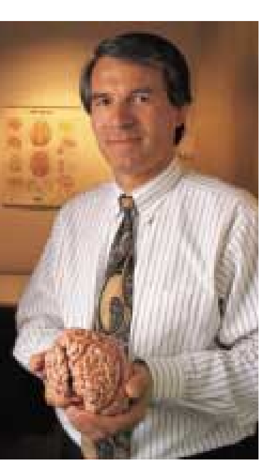
Schlaue Versuchstiere lernen sogar, wie sie die Maschine bewusst mit ihren Gedanken steuern können. Das zeigen Experimente mit Ratten: Mit seinem Kollegen John Chaplin an der Hahnemann Univer-

sity in Philadelphia hat Hirnforscher Nicolelis den Nagern beigebracht, mit den Pfoten einen Hebel zu betätigen, um Wasser zu erhalten.

Im nächsten Schritt wurde der Hebel direkt durch die neuronalen Impulse der Ratten gesteuert. Die gewitzten Nager merkten schon nach kurzer Zeit, dass sie den Hebel gar nicht mehr mit ihrer Muskelkraft zu drücken brauchten. Sie ließen fortan ihre Pfoten ruhen – und lenkten die Apparatur ausschließlich kraft ihrer Gedanken.

Bei Gelähmten und bei Menschen, denen Gliedmaßen amputiert wurden, könnte das ganz ähnlich funktionieren, prophezeit Nicolelis: „Man muss sich bloß *vorstellen*, dass man die verlorenen oder gelähmten Gliedmaßen bewegt.“

Denn selbst nach Lähmung oder Amputation verkümmern die entsprechenden Steuerregionen im Gehirn mitnichten, vielmehr können sie noch nach Jahren motorische Befehle geben, berichteten Forscher der University of Utah in Salt Lake City Ende Oktober in der Fachzeitschrift „Nature“: Gelähmte Versuchspersonen sollten versuchen, ihre schlaffen Gliedmaßen zu regen. Unterdessen wurden die Vorgänge in ihrer Hirnrinde mittels der Kernspintomografie abgehorcht. Ergebnis: Selbst bei Menschen, die schon seit fünf Jahren vom Hals abwärts völlig gelähmt waren, sandte das Gehirn noch Signale an Arme und Beine.



Forscher Kennedy

Johnny Ray, der erste Mann mit einem Chip im Gehirn, trainiert gegenwärtig, solche Signale bewusst einzusetzen. Dazu soll er unentwegt daran denken, den Zeigefinger der linken Hand zu bewegen. Die Elektrode in seiner rechten Gehirnhälfte registriert die entsprechenden Signale; eine Software übersetzt sie in Maschinensprache.

Immerhin habe Ray es mit dem System bereits geschafft, einen virtuellen Zeigefinger auf einem Bildschirm zu krümmen, will sein Arzt Philip Kennedy Mitte dieses Monats auf einer Tagung in San Diego berichten.

Der Patient, der seit drei Jahren vollkommen gelähmt in einem Krankenhaus der Kleinstadt Decature (US-Bundesstaat Georgia) liegt, kann mit seiner Vorstellungskraft auch schon Buchstaben auf einem Bildschirm aussuchen und Wörter bilden.

Viel hat der ehemalige Bauunternehmer allerdings nicht zu berichten. Als sein Arzt ihn fragte, was er so fühle, entgegnete der Gelähmte: „Nichts.“ Jörg Blech